

горитмов, обеспечивающих заданную погрешность измерения при существующих ограничениях. За счет этого оказалось возможным реализовать вычислительные процедуры расчета расхода жидкостей и газов, уровня и тепловой энергии на микропроцессоре с архитектурой intel 8052 в масштабе РВ. Предлагаемый комплексный подход к решению поставленных задач отличается высокой конкурентоспособностью, и аналогов в отечественной практике приборостроения не имеет.

На рис. 3 представлен опытный образец расходомера, к освоению серийного выпуска которого в настоящее время приступило ОАО "Теплоприбор" (г. Рязань). Прибор продемонстрировал следующие основные характеристики: динамический диапазон 1:10, погрешность измерений 2%, дополнительная погрешность не превышает основной в диапазоне температур -40...80°С.

Список литературы

1. Голь С.А. Автоматизация градуировки интеллектуальных измерительных преобразователей давления // Автоматизация в промышленности. 2006. №11.
2. Виноградов А.Л., Голь С.А., Лавров А.М., Устинов К.С. Исследование устойчивости процесса настройки параметров функции коррекции измерительного преобразователя // Известия РАЕН. Дифференциальные уравнения. 2006. № 11.
3. Виноградов А.Л., Голь С.А., Устинов К.С., Федоров В.Л. Структурно-алгоритмические методы коррекции погрешностей в современных интеллектуальных преобразователях давления // Автоматизация в промышленности. №11. 2006.
4. Виноградов А.Л., Виноградов Ю.Л., Корнеев В.Е., Устинов К.С., Федоров С.Ю. Расходомер с протоколом связи RS-485 и поддержкой спецификации OPC // Информационно-измерительная и биомедицинская техника. Сб. научных трудов. Рязань: РГРТА, 2006.
5. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ. Изд-во "Политехника". СПб, 2002.

Виноградов Александр Леонидович — канд. техн. наук, доцент, директор,

Голь Станислав Артурович — канд. техн. наук, ведущий инженер,

Устинов Константин Сергеевич — ведущий программист

ООО "Конструкторское бюро микропроцессорной техники" г. Рязань (ООО "КБМТ"),

Виноградов Юрий Леонидович — канд. техн. наук, доцент,

Корнеев Владимир Евгеньевич — аспирант Рязанского государственного радиотехнического университета.

Контактный телефон (4912) 92-03-48. E-mail: iit@rgta.ryazan.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТОВОЛОКНА В ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПИРОМЕТРОВ

А.Ю. Неделько (ОАО НПП "Эталон")

Показана возможность использования оптоволоконных элементов в пирометрах для передачи потока измеряемого теплового излучения от объекта на датчик, а также для передачи излучения видимой подсветки области измерения на объект.

В настоящее время оптическое волокно широко применяется в различных областях деятельности. Наибольшее распространение волокно получило в системах связи для передачи потока цифровой информации посредством модулированного оптического излучения. В измерительных системах оптическое волокно может быть применено в качестве линии передачи, а также может играть роль непосредственно чувствительного элемента.

На предприятии "Эталон" использование оптоволоконна в качестве непосредственно датчика находится на стадии изучения, а оптоволоконные элементы в пирометрах используются для передачи потока измеряемого теплового излучения от объекта на датчик, а также для передачи излучения видимой подсветки области измерения на объект.

Отметим некоторые достоинства оптических волокон: малые потери излучения (минимальные 0,154 дБ/км), малые диаметр и масса; эластичность (малый допускаемый радиус изгиба); механическая прочность (выдерживает нагрузку на разрыв примерно 7 кг); отсутствие взаимной интерференции (проникновение сигнала в соседние линии); безындукционность (практически отсутствует влияние электромагнитной индукции, а следовательно, и отрицательные явления, связанные с близостью к линии элект-

ропередачи, импульсами тока в силовой цепи и т.п.); взрывобезопасность (гарантируется абсолютной неспособностью волокна быть причиной искры); высокая коррозионная стойкость, особенно к химическим растворителям, маслам, воде.

Кратко рассмотрим конструкцию оптического волокна, а также основные принципы и понятия, используемые в оптоволоконной технике.

Волоконным световодом называют оптически прозрачную (в заданной спектральной области) нитевидную структуру, содержащую сердцевину и коаксиальную ей оболочку, показатель преломления n_0 , которой меньше, чем у сердцевины n_c . В качестве материала световода обычно применяют кварцевое стекло ($n \approx 1,5$), легированное различными примесями, или оптически прозрачные полимеры. Снаружи волоконный световод может быть покрыт защитной оболочкой, которая обычно не влияет на его оптические свойства.

Для передачи излучения по оптоволокону необходимо оптическое сопряжение источника излучения с одним из торцов световода. При этом в оптоволоконне могут распространяться только лучи, для которых угол падения на оболочку не превышает величины угла полного внутреннего отражения, то есть выполняется условие:

$$\cos \theta \geq n_0/n_c. \quad (1)$$

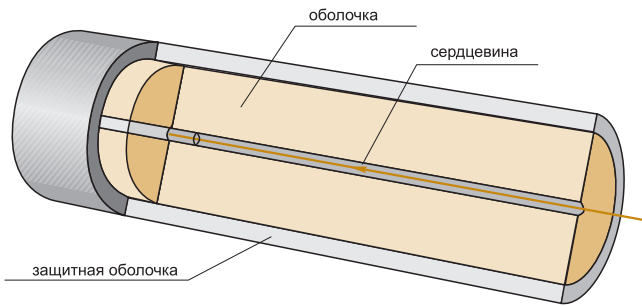


Рис. 1. Одномодовое волокно

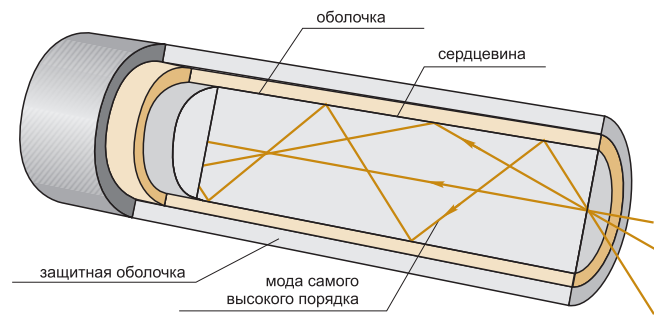


Рис. 2. Многомодовое волокно



Рис. 3. Затухание в оптоволокне

Максимально допустимый угол ввода света в световод (по отношению к оси световода) получил название апертурного угла ввода, синус данного угла называется числовой апертурой световода, которая вычисляется по формуле:

$$NA = \sin \theta_{max} = \sqrt{n_c^2 - n_o^2}, \quad (2)$$

где θ_{max} — апертурный угол ввода света в оптоволокно; n_c — показатель преломления сердцевины оптоволокна; n_o — показатель преломления оболочки оптоволокна.

Таким образом, в оптическом волокне будет распространяться световой пучок, падающий на торец световода под углом, не большим θ_{max} , и диаметром не больше диаметра сердцевины. Однако и в этом случае неизбежны потери на входе в световод в связи с отражением излучения от его торца.

Оптические лучи внутри волокна распространяются, многократно испытывая полное отражение. Но распространение этих лучей возможно лишь в том случае, когда они проходят под определенными углами. При попадании света от внешнего источника на торец световода в нем возбуждаются несколько волн (лучей), которые распространяются по световоду независимо от исходного луча. Возможные (разрешенные) собственные световые волны, которые распространяются в оптоволокне, называют модами. По сути, модой можно также назвать возможную траекторию прохождения светового луча по оптоволокну.

Оптоволокно, в котором в идеальном случае может существовать только одна мода (луч), получило название одномодовое волокно (рис. 1). Такой эффект достигается за счет использования лазеров и диаметра сердцевины оптоволокна, соизмеримого с длиной волны ($d/\lambda < 10$) — для одномодового волокна диаметр сердцевины составляет 8...10 мкм.



Рис. 4. Спектральные характеристики оптоволокна и фотодиода

В многомодовом волокне (рис. 2) вследствие сравнительно большого диаметра сердцевины и использования некогерентных источников излучения возможно существование большого числа мод. Промышленные многомодовые световоды для ВОЛС имеют диаметр сердцевины 50 или 62,5 мкм, внешний диаметр оболочки световода в обоих случаях составляет 125 мкм.

При передаче аналогового сигнала немаловажным является тот факт, что моды высоких порядков (входящие в волокно под большими углами) значительно затухают при изгибах волокна. Следовательно, для уменьшения погрешностей при изгибах волокна следует либо использовать одномодовое волокно, либо заведомо не допускать попадания в волокно мод высоких порядков.

При распространении излучения в волокне также возникают потери, связанные с его поглощением и рассеянием. Величину потерь при распространении принято оценивать в децибелах на километр:

$$k = -10 \cdot \frac{1}{L} \lg \left(\frac{I_{вых}}{I_{вх}} \right), \quad (3)$$

где $I_{вх}$, $I_{вых}$ — интенсивности излучения соответственно на входном/выходном концах световода; L — длина световода в километрах.

Реальная результирующая кривая затухания (рис. 3) отличается от теоретической, что связано с химическим составом материала оптоволокна (прежде всего, с примесями) и приводит к ухудшению его прозрачности на определенных длинах волн.

Участки спектра, на которых достигаются минимальные значения затухания, получили название окон прозрачности. В современной волоконно-оптической технике для передачи информации используются три основных окна прозрачности: 1 окно — в об-

ласти 850 нм; 2 окно – 1270/1280...1325 нм; 3 окно – 1528...1565 нм.

Учитывая сведения, приведенные выше, можно было приступить к разработке прототипа пирометра с оптоволоконным кабелем.

Большинство систем связи работают на длине волны 1,55 мкм, где ослабление сигнала в кварцевом волокне минимально. Логично выбрать фотодиод с максимумом чувствительности на этой длине волны, что при длинах волокна ≥ 10 м не критично. Если наложить кривые спектральных характеристик оптоволоконна и фотодиода, то видно, что рабочая область фотодиода попадает в полосу с минимальными потерями (рис. 4).

При выборе типа оптоволоконна решающими были следующие факторы: термостойкость; передача достаточной мощности потока излучения на датчик; воспроизводимость при изгибе кабеля.

От наиболее доступных из стандартных оптических волокон, применяемых для связи с пластиковыми оболочками, пришлось отказаться, так как рабочий температурный диапазон для них ограничен интервалом 70...80°C. Но в нормальных условиях макет с кабелем из пластикового волокна работал вполне удовлетворительно (рис. 5).

Оптическое волокно с сердцевиной и оболочкой из кварцевого стекла может выдерживать эксплуатацию при температурах до 600°C и намного более стойко к механическим деформациям. Оценив площади приемных площадок фотодиодов и технологические возможности оборудования, следующий вариант кабеля был изготовлен с оптоволоконном из кварцевого стекла, диаметр кварцевой сердцевины 500 мкм. С волокном такого диаметра легко работать и чувствительность по уровню шумов позволяла измерять температуры от 250°C. Но при испытаниях на изгиб уровень сигнала изменялся на 3...5% из-за ослабления мод высоких порядков. Следовало не допускать мод высоких порядков на входе в оптоволоконно. В конструкцию оптической приемной головки была установлена апертурная диафрагма, которая ограничивала моды высоких порядков. В результате зависимость от изгиба кабеля снизилась до 0,1%.

В качестве внешней защитной оболочки используется металлорукав из нержавеющей стали с внешним диаметром 6 мм, но наличие фторопластовых деталей в конструкции ограничивает температуру эксплуатации до 150°C. Со стороны подключаемой к пирометру кабель притягивается фторопластовой гайкой, а в пирометре установлена эбонитовая втулка, таким образом кабель надежно изолирован от прибора. Длина кабеля ограничивается только технологией сборки и в настоящий момент может изготавливаться кабель длиной до 10 м.

Для приклейки волокна к коннектору используется клей на основе эпоксидной смолы. Для шлифовки торца волокна понадобится металлическая оправка (рис. 6), ровная полированная металлическая или стеклянная пластина и полировочная шкурка. Момент окончательной готовности определяется при помощи микроскопа. Без микроскопа дефекты обработки торца оптоволоконна не видны. Отсутствие повреждений волокна в кабеле проверяется путем просвечивания его с помощью лазера или лампы. Дополнительно проверяется влияние изгиба путем накручивания кабеля на оправку радиусом, равным минимально допустимому радиусу изгиба кабеля.

В пирометре ПД-7 подсветка области измерения производится путем подключения кабеля к разьему "Лазер", что конечно не совсем удобно. После наведения оптической головки в нужное место кронштейн фиксируется затяжкой винтов и кабель подключается к разьему "Сигнал". Неиспользуемые оптические разьемы закрываются защитными колпачками.

Следующим этапом стало объединение возможности измерений и подсветки. При работе прибора светящиеся точки окружают область измерений (рис. 7).

Введение оптоволоконна в оптическую схему пирометра дает ряд положительных эффектов. Так как диаметр сердцевины мал, то показатель визирования получается не хуже 1:100...1:150. Переотражения и боковые засветки через волокно не проходят, так как попадают под большими углами. Внешний вид пирометра ПД-9 приведен на рис. 8. Добавив в конструкцию зеркало с углом 45° можно получить достаточно интересную оптическую схему.



Рис. 5. Макет пирометра ПД-7 с пластиковым волокном

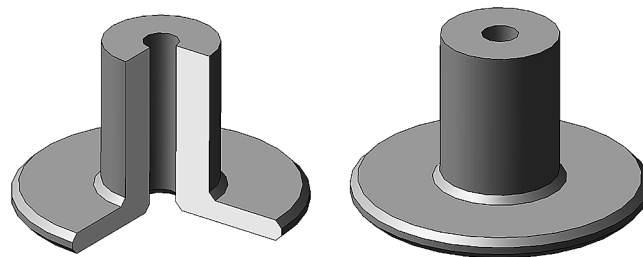


Рис. 6. Оправка для полировки оптоволоконна

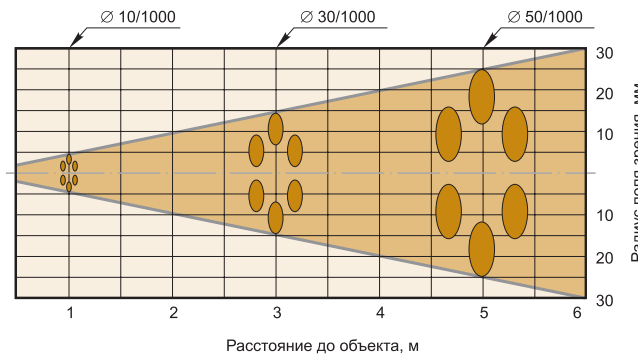


Рис. 7. Поле зрения пирометра ПД-9



Рис. 8. Пирометр ПД-9

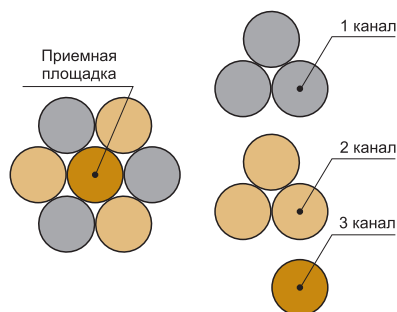


Рис. 9. Схема разделения каналов

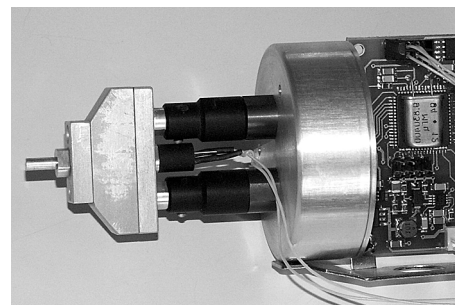


Рис. 10. Макет пирометра ПД-20

Волокна подсветки заводятся в боковой штуцер и полируются вместе с зеркалом и сигнальным волокном. Наведение на объект можно осуществлять как по светящимся точкам, так и наблюдая его через окуляр визира.

Еще одним вариантом использования волокна стала попытка разделения измерительного канала на два в пирометре спектрального отношения ПД-20. В каждом канале устанавливается интерференционный фильтр, световой поток через который должен быть максимально параллельным. Принцип разделения каналов поясняется на рис. 9. Центральное волокно используется для подсветки центра области измерения, два пучка по три волокна расходятся по каналам измерений.

Для подсветки центра области измерений устанавливается лазерный диод. Интерференционные фильтры и линзы термостатируются вместе с электронной измерительной схемой (рис. 10).

Подводя итоги, отметим следующее: применение оптического волокна открывает новые возможности

в разработке пирометрических средств измерений, улучшения параметров оптики, помехозащищенности и надежности, эргономичности и безопасности.

Применение оптоволоконна улучшает метрологические характеристики и не влияет критично на себестоимость, если не учитывать требования к квалификации специалистов. За счет применения оптоволоконна удалось увеличить показатель визирования, расширить температурный диапазон эксплуатации, а также значительно снизить влияние электромагнитных полей на работоспособность прибора в пирометре ПД-7.

На предприятии "Эталон" только началось изучение и применение оптоволоконных технологий, многое приходится познавать путем проб и ошибок. Большой интерес представляет изучение большого числа оптических эффектов, возникающих в оптоволоконне под воздействием различных физических параметров, с целью создания измерительных комплексов на базе оптоволоконных датчиков.

Неделько Александр Юрьевич – ведущий инженер ОАО НПП "Эталон".

Контактный телефон (3812) 36-99-67. [Http://www.omsketalon.ru](http://www.omsketalon.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ДАВЛЕНИЯ

Н.Ю. Макарова, К.В. Татмышевский, Д.Д. Павлов (ВлГУ)

Рассмотрены принцип действия, математическая модель и результаты моделирования механолюминесцентных датчиков давления (МЛД), преобразующих импульсное давление в оптический сигнал. МЛД являются принципиально новыми преобразователями давления – генераторными, твердотельными, миниатюрными, интегрирующимися в волоконно-оптические измерительные системы.

Введение

Автоматизация ТП, эффективное управление различными установками, развитие научных исследований требуют измерений разнообразных физических величин. В настоящее время на долю измерений давления приходится второе место после измерений температуры. Необходимо отметить возросший объем измерений в пределах одного объекта. Кроме того, условия, в которых производятся измерения, характеризуются дестабилизирующими воздействиями: электромагнитными и радиационными помехами, взрыво- и искроопасностью, высокой температурой, агрессивными средами. Системы с волоконно-оптическими линиями связи интенсивно вытесняют сис-

темы с традиционными кабельными линиями связи в случаях проведения измерений в экстремальных условиях. Это приводит к разработке датчиков, использующих в своей работе сигналы той же физической природы – оптические.

Свойства некоторых веществ – преобразовывать механическое воздействие в оптический сигнал (механолюминесценция (МЛ)) используется для создания оптических датчиков давления. Использование световых сигналов и волоконной оптики решает задачу сопряжения датчиков с волоконными линиями и повышения помехоустойчивости к электромагнитным помехам. Отсутствие движущихся частей и твердотельность датчика обеспечивают надежность, а использо-